



М.В. Савсюк

ТРАНСПОРТ ЛЕСА

Екатеринбург
2017

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра транспорта и дорожного строительства

М.В. Савсюк

ТРАНСПОРТ ЛЕСА

Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию
и для проведения практических занятий
для обучающихся по направлению 35.03.02 «Технология
лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств»
всех форм обучения

Екатеринбург
2017

Печатается по рекомендации методической комиссии ИЛБиДС.
Протокол № 1 от 15 сентября 2016 г.

Рецензент – А.Ю. Шаров, канд. техн. наук, доцент кафедры транспорта
и дорожного строительства

Редактор Ленская А.Л.
Оператор компьютерной верстки Газеева Е.А.

Подписано в печать 28.11.17		Поз. 35
Плоская печать	Формат 60x84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 1,86	Цена

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

ВВЕДЕНИЕ

Лесному комплексу в стратегии устойчивого развития Российской Федерации отводится важная роль. В современных условиях, когда транспортно-производственная система лесного комплекса стала рассматриваться как элемент системы устойчивого лесопользования, перед системой транспорта леса ставятся новые задачи, способные обеспечить лесовосстановительные мероприятия в системе неистощительного природопользования.

В соответствии с учебным планом по направлению 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» для обучающихся по профилю подготовки «Лесоинженерное дело» предусмотрен курс «Транспорт леса».

Учебно-методическое пособие охватывает комплекс вопросов по проектированию и эксплуатации автомобильных лесовозных дорог. Рассмотрены конструкции дорожных одежд, характерных для лесных дорог, изложены методы расчета нежестких дорожных одежд.

Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с требованиями ФГОС ВО, утверждённого Министерством образования и науки Российской Федерации от 20 октября 2015 г. № 1164.

1. ПРОЕКТНАЯ ЧАСТЬ

1.1. Характеристика природных условий

В курсовом проекте необходимо дать краткую характеристику условий проектирования лесовозной дороги. К местным природным условиям относятся климатические, топографические (рельеф местности), грунтовые, гидрологические условия, наличие растительности. К климатическим условиям относятся род климата (умеренный, континентальный и др.), дорожно-климатическая зона, годовое количество осадков в среднем за год, температурный режим, начало и конец весенней распутицы, снежный покров и его толщина к концу зимы, глубина промерзания грунтов, преобладающее направление ветра.

Характеристику рельефа местности следует изложить на основе анализа карты. Основными элементами характеристики являются тип рельефа местности, наибольшие колебания отметок земли в районе проложения трассы, естественные уклоны местности. При установлении типа рельефа местности следует пользоваться следующей классификацией:

- равнинный рельеф характеризуется наличием равнинных пространств, долин рек с пологими склонами и широкими спокойными водоразделами; наибольшие колебания отметок не более 30 м на 1 км;
- пересеченный рельеф характеризуется наличием большого количества холмов, выраженных водоразделов и долин рек с уклоном поверхности до 200 ‰, при общей разнице отметок более 30 м на 1 км хода не более 200 м;
- горный рельеф характеризуется наличием разветвленной сети глубоких долин, ущелий и горных хребтов.

В курсовом проекте необходимо дать характеристику рельефа местности вдоль воздушной трассы в полосе шириной около 1 км с изложением конкретных значений приведенных выше количественных характеристик.

1.2. Обоснование категории лесовозной дороги и основные нормы проектирования

Категория лесовозной автомобильной дороги назначается по СП 37.13330.2012 «Промышленный транспорт» в зависимости от годового объема вывозки. Годовой объем вывозки (грузооборот) – это основной эксплуатационный показатель лесовозной дороги, показывающий, какое количество древесины (в кубических метрах) перевозится по дороге в единицу времени (в год, квартал, месяц, сутки). Пользуясь таблицами А, В, С, D (Приложение 1), необходимо установить основные нормы проектирования дороги назначенной категории: руководящий подъем, минимальный радиус кривых в плане и профиле, расчетное расстояние видимости и т.д.

1.3. Проектирование трассы дороги в плане

Ось дороги, проложенная на местности, называется трассой, а графическое изображение ее проекции на горизонтальной плоскости, выполненное в определенном масштабе, – планом трассы. Масштабы планов принимают 1:5000, 1:2000.

1.3.1. Камеральное трассирование

Камеральное проложение трассы производится по топографическим картам и аэроснимкам в масштабах 1:25000 или планам в масштабе 1:10000.

Способ трассирования зависит от рельефа местности и предельного уклона трассирования, который устанавливается СП [1] в зависимости от категории дороги. Если уклон местности (в полосе варьирования трассы) меньше, чем принятый уклон трассирования, трассу прокладывают вольным ходом.

Там, где приходится преодолевать значительные высотные препятствия, трассирование выполняют напряженными ходами [2].

В задании указано общее направление трассы, т.е. обозначены начальная, конечная и промежуточные точки, через которые должна пройти трасса. Далее необходимо произвести укладку трассы в плане. Укладка заключается в том, чтобы вписать в углах поворота круговые кривые (а при необходимости и переходные кривые), вычислить пикетажное положение основных точек закругления и перенести их на план.

Последовательность укладки трассы следующая:

1) уточняем предварительно намеченное положение вершин углов поворота трассы и соединяем вершины прямыми линиями. Длину последних измеряем масштабной линейкой с точностью до 0,2 мм, а углы поворота – транспортиром с точностью до 15°;

2) вписываем на поворотах трассы круговые кривые по возможности больших радиусов;

3) выписываем из таблиц разбивки кривых [3] значения элементов круговых кривых в зависимости от радиуса и угла поворота ϕ : тангенс (Т), длину кривой (К), домер (Д), биссектрису (Б) и вносим их в табл. 1;

4) вычисляем пикетажное положение основных точек закруглений, результаты записываем в табл. 1:

$$\text{НKK}_i = \text{ВУП}_i - \text{T}_i,$$

где НKK_i – начало i -й круговой кривой, м;

ВУП_i – вершина i -го угла поворота, м;

T_i – тангенс i -го угла поворота, м.

Конец 1-й круговой кривой (KKK_i , м) вычисляем по формуле

$$\text{KKK}_i = \text{НKK}_i + K_i,$$

где K_i – длина кривой i -го угла поворота, м.

Середина i -й круговой кривой (СКK_i , м) равна

$$\text{СКK}_i = \text{НKK}_i + K_i/2 \text{ или } \text{СКK}_i = \text{KKK}_i - K_i/2;$$

5) определяем длину прямых вставок (Р). Длина первой вставки равна расстоянию от начала трассы (НТ) до начала первой круговой кривой (НKK_1):

$$P_1 = \text{НKK}_1 - \text{НТ}.$$

Длина каждой последующей прямой вставки определяется как разность между началом последующей кривой и концом предыдущей:

$$P = НКК_{i+1} - ККК_i;$$

б) вычисляем расстояние между вершинами углов поворота:

$$\begin{aligned} S_1 &= ВУП_1; \\ S_i &= ВУП_i - ВУП_{i-1} + Д_{i-1}; \\ S_n &= КТ - ВУП_n + Д_n, \end{aligned}$$

где S_1 – расстояние от начала трассы до первого угла поворота, м;
 S_i – расстояние между вершинами i и $i-1$ углов поворота, м;
 S_n – расстояние от последнего угла поворота до конца трассы, м;
КТ – конец трассы, м;
Д – домер, м.

По окончании вычислений делаем проверку длины трассы по формулам:

$$L_{тр} = \sum_{i=1}^n P + \sum_{i=1}^n K; \quad L_{тр} = \sum_{i=1}^n S - \sum_{i=1}^n Д.$$

Таблица 1

Укладка трассы

№ углов поворота	Положение вершины угла ПК+	Угол поворота, град		Радиус R, м	Элементы круговой кривой, м				Местоположение точек закругления		Расстояние между вершинами, м	Прямая вставка, м	Румб линий, град
		Влево	Вправо		Т	К	Б	Д	Начало ПК+	Конец ПК +			

1.3.2. Проектирование виражей

Назначение кривых малых радиусов допустимо лишь в трудных условиях, когда иное решение невозможно или вызывает большие объемы земляных работ. Поэтому рекомендуется применение в нормальных условиях на

магистралях радиусов кривых в плане не менее 600 м [1]. При этом отпадает необходимость в устройстве виражей, переходных кривых и уменьшения величины продольных уклонов.

В целях обеспечения безопасности движения при кривых с радиусами 600 м и менее устраивают виражи – односкатные поперечные профили с уклоном к центру кривой.

Поперечный уклон покрытия на вираже определяется по формуле

$$i_n = \frac{V_p^2}{gR} - \mu, \quad (1)$$

где V_p – расчетная скорость движения на дороге данной категории, м/с;

R – радиус кривой в плане, м;

μ – коэффициент поперечной силы, характеризующий устойчивость автомобиля против заноса на кривой.

Величина поперечного уклона принимается не менее уклона покрытия на прямой и не более 60 ‰ (в районах с частым гололедом 40 ‰) с соответствующим увеличением радиуса кривой или обоснованием в проекте ограничения скорости движения. Односкатный профиль устраивают на всем протяжении кривой, описанной радиусом R_{\min} .

На подходах к этой кривой проектируют отгон виража – постепенный плавный переход от двухскатного поперечного профиля к односкатному.

При переходе от двухскатного поперечного профиля к односкатному возникает дополнительный продольный уклон внешней половины проезжей части в связи с постепенным подъемом ее внешней кромки и бровки земляного полотна, называемым уклоном отгона виража $i_{от}$, величину которого принимают равным 10 ‰, а в горной местности 20 ‰.

Обочинам придается на вираже уклон, одинаковый с уклоном проезжей части. Поперечный уклон обочин изменяют до начала отгона виража на участке длиной 10 м.

1.3.3. Уширение проезжей части на кривой в плане

При движении по кривой колеса автомобиля описывают кривые разного радиуса. Внешнее колесо передней оси автомобиля описывает кривую с большим радиусом, чем внешнее колесо задней оси. Поэтому автомобиль, движущийся по кривой, занимает более широкую полосу проезжей части, чем при движении по прямой (рисунок 1).

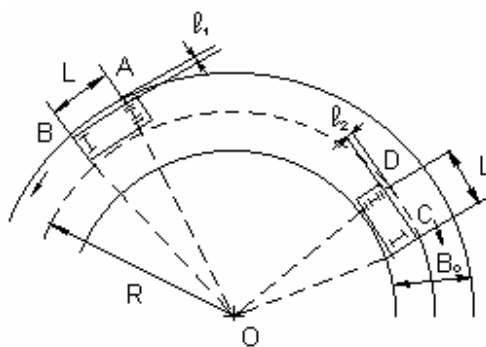


Рис. 1. Схема встречи двух автомобилей на кривой:

L – расстояние между передним буфером и задней осью автомобиля, м;
 R – радиус кривой, м; B_0 – ширина проезжей части по прямой, м;
 e_1, e_2 – уширение проезжей части, м

Для обеспечения безопасности разезда встречных автомобилей на кривых малого радиуса требуется уширять проезжую часть и земляное полотно.

Величину этого уширения (e) ориентировочно определим с учетом следующих соображений. Принимаем, что расстояние между задней осью и передним буфером автомобиля равно L , а необходимое уширение каждой половины проезжей части предусматриваем в сторону соответствующей обочины. Считаем также, что ширина встречных автомобилей одинакова и условно равна половине ширины проезжей части на прямой. Тогда из треугольника АОВ (см. рис. 1) получим

$$L^2 + \left(R + \frac{B_0}{2}\right)^2 = \left(R + \frac{B_0}{2} + e_1\right)^2,$$

$$\text{откуда } e_1 = \sqrt{\left(R + \frac{B_0}{2}\right)^2 + L^2} - \left(R + \frac{B_0}{2}\right).$$

Из треугольника COD аналогично будем иметь:

$$e_2 = R - \sqrt{R^2 - L^2}.$$

Полная величина уширения

$$e = e_1 + e_2 = \sqrt{\left(R + \frac{B_0}{2}\right)^2 + L^2} - \frac{B_0}{2} + \sqrt{R^2 - L^2}.$$

Ориентировочно, принимая $e = 2e_2$, получим

$$e = 2(R - \sqrt{R^2 - L^2}).$$

С учетом влияния скорости движения автомобиля, и введя эмпирическую поправку, окончательно величина уширения будет равна

$$e = 2(R - \sqrt{R^2 - L^2}) + 0,1V / \sqrt{R} ,$$

где V – расчетная скорость, км/ч.

Аналогичным методом находят уширение проезжей части и земляного полотна при прохождении автомобильных поездов при хлыстовой вывозке.

Уширение проезжей части должно проводиться с внутренней стороны кривой. На дорогах с шириной обочин более 1 м уширение проезжей части проводится за счет уменьшения внутренней обочины при условии, чтобы ширина ее была не менее 1 м. На дорогах с шириной обочин 1 м и меньше ширина обочин на кривых должна остаться такой же, как и на кривых участках дороги за счет одинакового уширения проезжей части и земляного полотна с внутренней стороны кривой.

Отгон уширения проводится до начала круговой кривой путем пропорционального увеличения ширины проезжей части и земляного полотна на участке переходной кривой. При отсутствии переходной кривой отгон уширения совмещается с отгоном виража, а при отсутствии последнего – на участке длиной не менее длины автомобиля.

1.4. Проектирование продольного профиля автомобильной дороги

Продольный профиль автомобильной дороги – это проекция оси дороги на вертикальную плоскость, развернутая в плоскости чертежа. На этом чертеже должны быть представлены информация о местности и проектные решения, от которых зависят как объемы предстоящих строительных работ, так и транспортно-эксплуатационное качество дороги.

Для вычерчивания продольного профиля дороги принимают масштабы: вертикальный 1:500, горизонтальный 1:5000. Сетку продольного профиля рекомендуется вычерчивать так, чтобы вертикальная линия штампа сетки справа и верхняя горизонтальная линия совпали с жирными линиями миллиметровки. После вычерчивания сетки (Приложение 2) вписывают фактические данные в соответствующие графы. В графе "развернутый план дороги" условными знаками изображают ситуацию на полосе съемки (слева и справа от оси дороги по 50 м). "Тип местности по увлажнению" устанавливают, руководствуясь топографией местности (по карте), наличием заболоченных участков, линиями водоразделов, уклонами и другими признаками.

При вычерчивании продольного профиля используются черные отметки, снятые с карты в горизонталях. Проектирование "красной" линии продольного профиля лесовозных автомобильных дорог рекомендуется наносить по обертывающей (параллельно поверхности земли), соблюдая требования, приведенные в табл. G (Приложение 3), и сводя к минимуму участки дороги с выемками.

1.5. Проектирование земляного полотна

Земляное полотно на прямых участках. Ширину земляного полотна на прямых участках автомобильной дороги определяют по формуле

$$B = B_0 + 2C,$$

где B_0 – ширина проезжей части, м;

C – ширина обочины, м.

Для дорог с двухполосным движением

$$B_0 = S + d + m + 2a,$$

где S – ширина колеи расчетного автомобиля, м;

d – ширина автомобиля или прицепа; берется наибольшая габаритная ширина с учетом длины коника, м;

m – минимальный зазор между встречными автомобилями ($m = 2a$);

a – расстояние от оси колеса до кромки покрытия, м:

$$a = (0,5 + 0,005 \times V_p) K_{ум},$$

где V_p – расчетная скорость движения, км/ч,

$K_{ум}$ – коэффициент уменьшения на лесовозных дорогах ($K_{ум} = 0,7 \dots 0,8$ для двухполосных дорог и $1,0$ – для однополосных).

Для однополосных дорог $B_0 = S + 2a$.

Сливной призме земляного полотна дорог с одеждами следует придавать поперечные уклоны, равные $10 \dots 30 \text{ ‰}$, а призме грунтовых дорог без покрытий – в пределах проезжей части $40 \dots 50 \text{ ‰}$ и на обочинах $50 \dots 60 \text{ ‰}$.

1.5.1. Проектирование поперечных профилей земляного полотна

Сообразуясь с рельефом местности, размещением проектной линии на профиле, типом грунта, рабочей отметкой и другими условиями, необходимо выбрать типовой поперечный профиль земляного полотна для характерных участков дороги (насыпь, выемка, крутой косогор и т.п.).

1.5.2. Определение объемов земляных работ

Объем земляных работ следует определить на всей длине продольного профиля:

$$V_n = \left(a + B H_{cp} + m H_{cp}^2 \right) l + \frac{m}{12} H_{cp}^2 l, \quad (2)$$

где V_n – объем насыпи, m^3 ;
 a – площадь сливной призмы, m^2 ;
 B – ширина земляного полотна, m ;
 H_{cp} – средняя рабочая отметка, m ;
 m – крутизна заложения откоса;
 l – длина участка, m .

Формула Мурзо (2) при $m = 1,5$ может быть приведена к виду

$$V_n = \left(B H_{cp} + 1,625 H_{cp}^2 \right) l + V_c,$$

где V_c – объем сливной призмы, m^3 ;

$$V_c = \frac{f}{2} l B.$$

Здесь f – стрела выпуклости сливной призмы, $f = \frac{B}{2} i$,

где i – поперечный уклон земляного полотна.

Расчеты сводятся в таблицу 2.

Таблица 2

Объем земляных работ на участке дороги

ПК+	Рабочая отметка, м		Длина участка, м	$B H_{cp}$, m^2	$1,625 H_{cp}^2$, m^2	V_c , m^3	V_n , m^3	$V_{общ}$, m^3
	H	H_{cp}						
1	2	3	4	5	6	7	8	9

1.6. Проектирование дорожных одежд нежесткого типа

Проектирование дорожной одежды заключается в установлении оптимального количества слоев, определении расчетных характеристик материалов, расчете и технико-экономическом анализе выбранных конструкций. При этом следует учитывать категорию дороги, состав и перспективную интенсивность движения автопоездов, климатические и гидрологические условия местности, особенности устройства отдельных слоев и дорожной одежды в целом.

В качестве основного показателя, характеризующего прочность (деформативные свойства) дорожно-строительных материалов, грунтов и дорожной одежды, принят модуль упругости.

Расчетная нагрузка, принимаемая при расчете дорожных одежд лесовозных дорог, является нагрузкой группы А.

В зависимости от материала покрытия, ширины проезжей части и обочин, условий организации строительства и других факторов необходимо принять один из типовых поперечных профилей дорожной одежды (рисунок 2).

Определение приведенной интенсивности движения, требуемого модуля упругости дорожной одежды

Интенсивность движения – это количество автомобилей, проходящих в сутки по одной наиболее загруженной полосе.

Приведенную суточную интенсивность движения, используя значения коэффициентов для приведения автомобилей с различными нагрузками на ось к расчетному автомобилю (группа А), определяют по формуле

$$N_p = f_{\text{пол}} \delta \left(\frac{Q_{\text{лет}}}{T_{\text{лет}} Q_{\text{пол}}} S_{\text{сум}} \right), \quad (3)$$

где $f_{\text{пол}}$ – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним, при количестве полос 1, 2, 3 соответственно $f_{\text{пол}} = 1; 0,55; 0,50$;

δ – коэффициент, учитывающий движение по грузовой полосе в порожнем направлении (для однополосных дорог $\delta = 1,15$, для двухполосных $\delta = 1,050$);

$Q_{\text{лет}}$ – объем вывозимого леса за летне-осенний период (для практических расчетов можно принять $Q_{\text{лет}} = (0,4 \dots 0,45) Q_{\text{год}}$, м^3 ($Q_{\text{год}}$ – годовой объем вывозки, м^3);

$T_{\text{лет}}$ – продолжительность летне-осеннего периода, сут.;

$S_{\text{сум}}$ – суммарный коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортного средства к расчетной нагрузке;

$Q_{\text{пол}}$ – полезная нагрузка на автопоезд, м^3 :

$$Q_{\text{пол}} = \frac{q_a + q_p}{\varphi},$$

где q_a – грузоподъемность автомобиля, т;

q_p – грузоподъемность роспуска, т;

φ – объемная масса древесины, $\text{т}/\text{м}^3$.

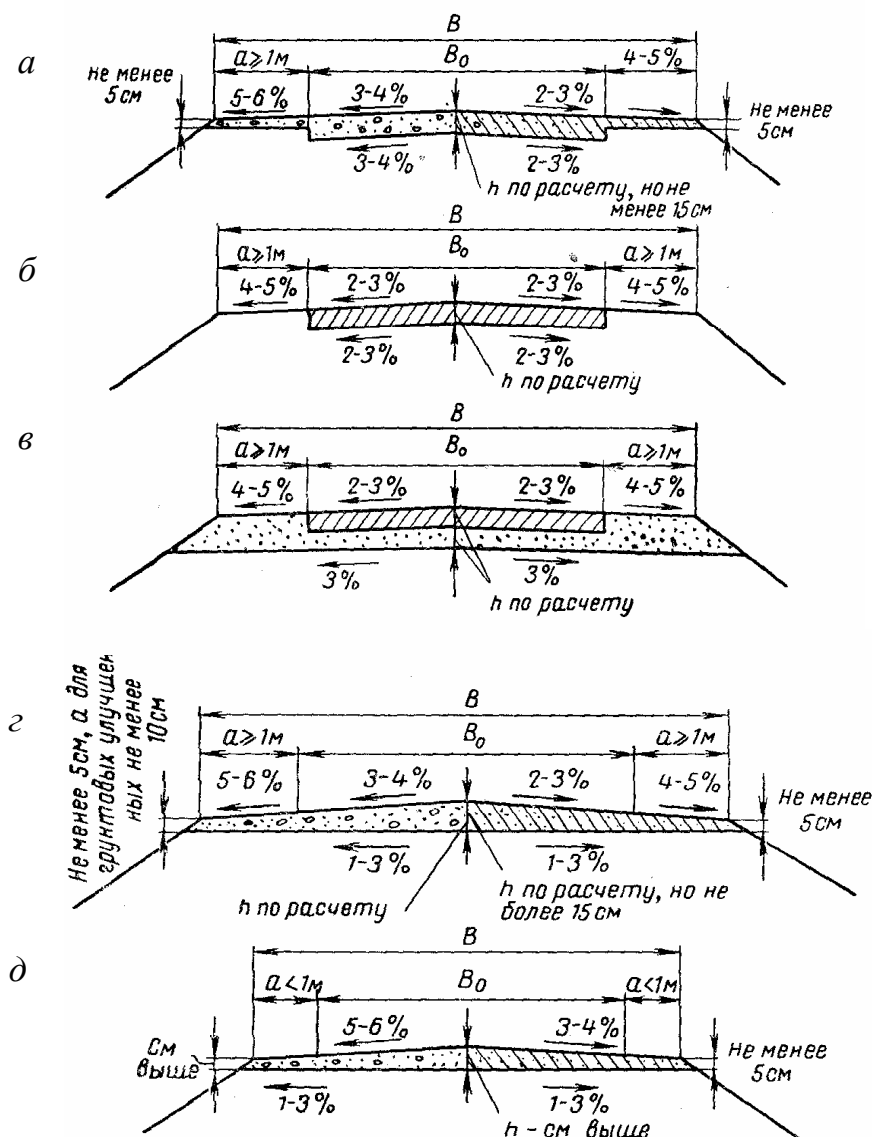


Рис. 2. Поперечные профили дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог: а – полукорытный профиль при ширине обочин 1 м и более; б – корытный профиль одежды на однополосных дорогах (левые половины профилей а и б – для гравийных, грунтощебеночных и грунтовых покрытий, правые – для покрытий из грунтов, укрепленных вяжущими); в – корытный профиль (левая половина – для гравийных одежд при дренирующих грунтах земляного полотна, правая – для покрытия из грунтов, укрепленных вяжущими); г – серповидный профиль при дренирующих грунтах земляного полотна; д – то же при недренирующих грунтах с устройством гравийного покрытия в корыте из песчаного подстилающего слоя

Требуемый модуль упругости дорожной одежды находится по номограмме (рисунок 3).

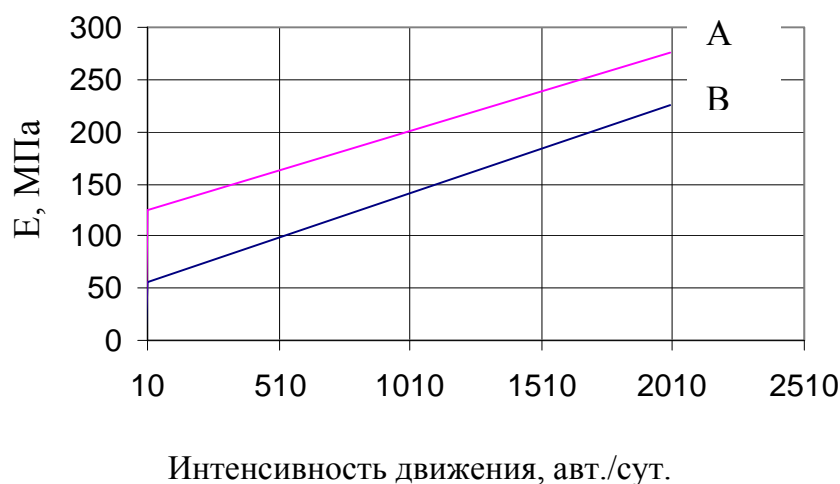


Рис. 3. Требуемые модули упругости для нагрузок А и Б

Расчет толщины конструктивных слоев дорожной одежды по допускаемому упругому прогибу

Дорожные одежды с покрытиями переходного типа (щебеночные, гравийные, грунтощебеночные, из грунтов, укрепленных вяжущими и др.) рассчитывают на воздействие подвижных нагрузок по двум критериям: сопротивление упругому прогибу всей конструкции и сопротивление сдвигу в подстилаемом грунте и слоях дорожной одежды.

Расчет дорожной одежды заключается в определении необходимой толщины как всей одежды в целом, так и отдельных ее слоев.

Назначают конструкцию дорожного покрытия аналогично представленной на рисунке 4. Размещение слоев в конструкции должно быть по убывающей прочности материалов, при этом отношение модулей упругости смежных слоев конструкции не должно превышать 5...6, т.е. необходимо, чтобы $E_{(n)} / E_{(n-1)} \leq 5 \dots 6$.

Модуль упругости грунтов основания и материалов покрытия (песка, щебня, гравия и др.) принимают по таблицам E, F (Приложение 3).

Пользуясь номограммой (рисунок в Приложении 3) для определения общего модуля упругости многослойной дорожной системы, определяют толщину конструктивных слоев.

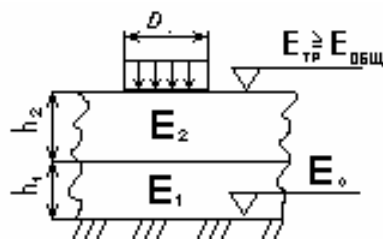


Рис. 4. Конструкция дорожной одежды (двухслойная) для расчета толщины слоев

Применительно к двухслойной схеме расчет толщины слоев можно вести в следующем порядке:

- принимают толщину одного из слоев, например толщину слоя песка h_1 , и вычисляют отношения

$$\frac{h_1}{D} = a_1 \quad \text{и} \quad \frac{E_0}{E_1} = b_1;$$

- по оси абсцисс номограммы откладывают величину a_1 , а по оси ординат величину b_1 ;

- на пересечении перпендикуляров из точек a_1 и b_1 находят точку, которой соответствует кривая с отношением $\frac{E_{\text{общ}}}{E_1} = c_1$;

- из последнего соотношения определяют общий модуль упругости, эквивалентный по сопротивляемости подстилаемому слою и слою песка толщиной h_1 , $E_{\text{общ}} = c_1 E_1$;

- составляют отношения для вышележащего слоя: $\frac{E_{\text{общ}}}{E_2} = b_2$ и $\frac{E_{\text{тр}}}{E_2} = c_2$.

Откладывая на оси ординат величину b_2 и проводя через точку b_2 прямую параллельно оси абсцисс до пересечения с кривой, численная величина которой равна величине c_2 , опускают перпендикуляр на ось абсцисс и считают величину отношения $\frac{h_2}{D} = a_2$, из которого определяют толщину верхнего слоя:

$$h_2 = D \cdot a_2.$$

Расчетная величина каждого конструктивного слоя должны быть в пределах $h \leq 2D$. Если такое условие не соблюдается, делают перерасчет конструкции путем увеличения количества слоев, замены материалов более прочными.

2. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ

2.1. Определение полезной нагрузки автопоезда

Масса автопоезда определяется из условия равномерного движения на руководящем подъеме.

Определяют касательную силу тяги на II передаче (F_{κ}^{II} , Н):

$$F_{\kappa}^{\text{II}} = \frac{M_{\text{кр}} i_{\text{м}} \eta_{\text{м}} \gamma \beta}{\tau_{\kappa}}, \quad (4)$$

где $M_{\text{кр}}$ – крутящий момент на валу двигателя, Нм;
 $i_{\text{м}}$ – общее передаточное число силовой трансмиссии;
 $\eta_{\text{м}}$ – коэффициент полезного действия всей силовой передачи;
 γ – коэффициент использования всей мощности двигателя;
 β – коэффициент учета отбора мощности двигателя на привод;
 τ_{κ} – радиус ведущего колеса, м.

В расчетах рекомендуется принимать: $\gamma = 0,85 \dots 0,90$; $\beta = 0,9 \dots 0,95$. Скорость движения принимается по тяговым или техническим характеристикам автомобиля при условии включения второй передачи. Общее передаточное число силовой трансмиссии определяется по формуле

$$i_{\text{м}} = i_{\text{г.п}} i_{\text{к.п}} i_{\text{р.к}},$$

где $i_{\text{г.п}}$ – передаточное число главной передачи;
 $i_{\text{к.п}}$ – передаточное число коробки передачи;
 $i_{\text{р.к}}$ – передаточное число раздаточной коробки.

Вычисленная по уравнению (4) сила тяги автомобиля проверяется из условия обеспечения сцепления ведущих колес с дорожным покрытием:

$$F_{\kappa}^{\text{II}} \leq F_{\text{сц}} = 1000 \varphi_{\text{сц}} g M_{\text{сц}},$$

где $\varphi_{\text{сц}}$ – коэффициент сцепления, зависящий от типа и состояния покрытия;
 $M_{\text{сц}}$ – сцепная масса тягача (на ведущих колесах), т.

В расчетах рекомендуется принимать:

$\varphi_{\text{сц}} = 0,4 \dots 0,5$ – для влажных твердых покрытий;

$\varphi_{\text{сц}} = 0,3 \dots 0,35$ – для влажных гравийных, щебеночных и грунтовых улучшенных дорог;

$\varphi_{\text{сц}} = 0,25 \dots 0,3$ – для снежных укатанных дорог.

Для дальнейших расчетов используют наименьшее (из двух) значение силы тяги.

Расчетная масса автопоезда ($M_{a.п.}$, т) определяется по формуле

$$M_{a.п.} = \frac{F_{\kappa}''}{\omega_0 + g i_{рук}},$$

где $i_{рук}$ – руководящий уклон, ‰;

ω_0 – основное удельное сопротивление движению автопоезда, Н/т; в расчетах можно принять $\omega_0 = 170 + 12,5V$, где V – расчетная скорость движения, м/с.

Полезная масса ($M_{пол.}$, т) автопоезда для принятого типа прицепного состава равна

$$M_{пол.} = \frac{M_{a.п.} - (M_{ав.} + M_{пр.})}{\gamma}, \quad (5)$$

где $M_{ав.}$ и $M_{пр.}$ – собственная масса автомобиля и прицепного состава, т;
 γ – объемная масса древесины, т/м³.

Вычисленная по уравнению (5) полезная масса автопоезда не должна превышать номинальной грузоподъемности автомобильного прицепного состава, т.е. должно соблюдаться условие $M_{пол.} \leq \frac{G_{ав.} + q_{пр.}}{\gamma}$, где $G_{ав.}$ и $q_{пр.}$ – соответственно паспортная (номинальная) грузоподъемность автомобиля и прицепного состава, т.

2.2. Определение скорости движения автопоезда методом равновесных скоростей

Для уменьшения объема вычислительной работы фактический продольный профиль дороги рекомендуется представить в виде так называемого эквивалентного, состоящего из трех элементов. Величину эквивалентных уклонов (подъема, спуска) определяют относительно грузового направления по формуле

$$i_{эkv(п,сп)} = \frac{\sum i_n l_n}{\sum l_n},$$

где i_n – величина уклона (подъема, спуска) n -го элемента продольного профиля, ‰;

l_n – длина n -го элемента продольного профиля (на подъеме, спуске), ‰.

Потребную силу тяги для каждого из трех элементов (подъем, спуск, площадка) эквивалентного профиля определяют, пользуясь уравнением

$$F_k = M_{a.п} (\omega_0 \pm g i_{э.кв}).$$

Используя тяговую характеристику автомобиля, определяют возможные скорости движения на каждом из элементов эквивалентного профиля (на подъеме, спуске и площадке) V_n , $V_{сп}$, и $V_{пл}$.

Время хода на каждом элементе эквивалентного профиля определяют по формулам:

$$t_n = \frac{\sum l_n 60}{V_n}, \quad t_{сп} = \frac{\sum l_{сп} 60}{V_{сп}}, \quad t_{пл} = \frac{\sum l_{пл} 60}{V_{пл}},$$

где $\sum l_n$, $\sum l_{сп}$, $\sum l_{пл}$ – соответственно протяженность подъемов, спусков и площадок эквивалентного профиля, км;

V_n , $V_{сп}$, $V_{пл}$ – возможные скорости движения на подъеме, спуске и площадке, км/ч.

Среднюю скорость в грузовом (порожном) направлении определяют из условия

$$V_{гр} = \frac{L 60}{t_n + t_{пл} + t_{сп}},$$

где L – длина дороги, т.е. суммарная длина всех элементов продольного профиля дороги, км.

Среднетехническую скорость движения автопоезда определяют по формуле

$$V_{ср.т} = \frac{2V_{гр} V_{пор}}{V_{гр} + V_{пор}}.$$

2.3. Определение сменной эксплуатационной производительности автопоезда

Пользуясь вычисленным значением $V_{ср.т}$ и нормированными затратами времени простоя автопоезда на погрузочно-разгрузочных и других операциях, определяют его сменную производительность:

$$\Pi_{см} = \frac{(480 - t_{п.з}) M_{пол} K_{вр}}{120 \frac{L_{маг}}{V_{ср.т}} + T_{п.п} + T_p},$$

где $t_{п.з}$ – время на подготовительно-заключительные работы, мин;

$k_{вр}$ – коэффициент, учитывающий затраты времени на личные нужды и отдых в течение смены;

$L_{маг}$ – расстояние вывозки леса по магистрали, км;

T_p – время простоев при разгрузке автопоезда на нижнем складе козловыми и кабельными кранами, мин ($T_p = 15$ минут);

$T_{п.п}$ – время на погрузочные работы при использовании челюстных погрузчиков, мин ($T_{п.п} = 10 + 1,2M_{пол}$).

2.4. Определение численности парка автомобилей и прицепного состава

Рабочий парк автомобилей на годовой объем вывозки леса определяют по формуле

$$N_{раб} = \frac{Q_{год}}{AZ_{см} \Pi_{см}},$$

где A – количество рабочих дней в году, $A = 260 \dots 280$ дн.;

$Z_{см}$ – число смен на вывозке за сутки.

Инвентарный парк автомобилей

$$N_{инв} = \frac{N_{раб}}{k_t} + 0,17N_{раб},$$

где k_t – коэффициент технической готовности автомобилей.

В расчетах рекомендуется принимать:

$k_t = 0,85$ – при работе автопоездов в одну смену;

$k_t = 0,8$ – при работе в две смены;

$k_t = 0,75$ – при работе в три смены.

Численность прицепного состава принимается по количеству инвентарных автомобилей, требующихся в сезон наиболее интенсивной вывозки (обычно зимний).

2.5. Определение расхода топлива и смазочных материалов

Нормы расхода топлива и смазочных материалов на автомобильном транспорте предназначены для расчетов нормативного значения расхода топлива по месту потребления, для ведения статистической и оперативной отчетности, определения себестоимости перевозок и других видов транспортных

работ, планирования потребности предприятий в обеспечении нефтепродуктами, для расчетов по налогообложению предприятий, осуществления режима экономии и энергосбережения потребляемых нефтепродуктов, проведения расчетов с пользователями транспортными средствами, водителями и т.д.

При нормировании расхода топлива различают базовое значение расхода топлива, которое определяется для каждой модели, марки или модификации автомобиля в качестве общепринятой нормы, и расчетное нормативное значение расхода топлива, учитывающее выполняемую транспортную работу и условия эксплуатации автомобиля.

Для автомобилей, используемых на вывозке леса, установлены следующие виды норм:

- базовая норма в литрах на 100 км (л/100 км) пробега автотранспортного средства (АТС) в снаряженном состоянии;

- транспортная норма в литрах на 100 км (л/100 км) пробега при проведении транспортной работы;

- транспортная норма в литрах на 100 тонно-километров (л/100 ткм) при проведении транспортной работы грузового автомобиля учитывает дополнительный к базовой норме расход топлива при движении автомобиля с грузом, автопоезда с прицепом или полуприцепом без груза и с грузом или с использованием установленных ранее коэффициентов на каждую тонну перевозимого груза, массы прицепа или полуприцепа – до 1,3 л/100 км и до 2,0 л/100 км для автомобилей соответственно с дизельными и бензиновыми двигателями, или с использованием точных расчетов, выполняемых по специальной программе-методике непосредственно для каждой конкретной марки, модификации и типа АТС [4].

Нормативное значение расхода топлива для автомобилей (тягачей) и автопоездов рассчитывается по формуле

$$Q_n = 0,01 (H_{\text{сан}} S + H_w W) (1 + 0,01 D),$$

где Q_n – нормативный расход топлива, л;

S – пробег автомобиля или автопоезда, км; $S = (l_{\text{ср}} + l_n) \frac{Q_r}{M_{\text{пол}}}$ ($l_{\text{ср}}$ – среднее

расстояние вывозки, км; l_n – величина «нулевого» пробега на погрузочном пункте за 1 рейс, км);

H_w – норма расхода топлива на транспортную работу, л/100 ткм;

W – объем транспортной работы, м³·км: $W = G_{\text{гр}} S_{\text{гр}}$ (где $G_{\text{гр}}$ – объем груза, м³; $S_{\text{гр}}$ – пробег с грузом, км);

D – поправочный коэффициент (суммарная относительная надбавка или снижение) к норме, %;

H_{san} – норма расхода топлива на пробег автомобиля или автопоезда в снаряженном состоянии без груза, л/100 км; $H_{\text{san}} = H_s + H_g G_{\text{пр}}$.

Здесь H_s – базовая норма расхода топлива на пробег автомобиля (тягача) в снаряженном состоянии, л/100 км ($H_{\text{san}} = H_s$, л/100 км, для одиночного автомобиля, тягача);

H_g – норма расхода топлива на дополнительную массу прицепа или полуприцепа, л/100 т км;

$G_{\text{пр}}$ – собственная масса прицепа или полуприцепа, т.

Нормы расходов смазочных материалов представлены в Приложении 4.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 37.13330.2012. Промышленный транспорт. Актуализированная редакция СНиП 2.05.07-9. Утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 29 декабря 2011 г. № 635/7 и введен в действие с 01 января 2013 г.

2. Булдаков С.И. Особенности проектирования автомобильных дорог: учебное пособие. - 2-е изд., перераб. и доп. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2016. - 271 с.

3. Ганьшин В.Н., Хренов Л.С. Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых. Изд. 4-е, испр. и доп. – Киев: Будивельник, 1974 г. – 432 с.

4. Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте: методические рекомендации / В редакции Распоряжения Минтранса России от 14.07.2015 N НА-80-р.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Основные нормы проектирования лесовозных автомобильных дорог

Таблица А - Классификация лесовозных автомобильных дорог

Назначение дороги	Расчетный объем перевозок, $\frac{\text{млн.т нетто}}{\text{год}}$	Категория дороги
Основные автомобильные дороги лесного комплекса	От 0,35 до 0,7	I - л
	От 0,14 до 0,35	II - л
	Менее 0,14	III - л
Вспомогательные автомобильные дороги и дороги с невыраженным грузооборотом		IV - л

Таблица В - Расчетные скорости движения

Категория дороги	Расчетная скорость движения автомобиля по автодороге, км/ч	
	внутриплощадочной	межплощадочной
I - л	50	70
II - л	40	60
III - л	30	50
IV - л	20	30

Таблица С - Параметры плана и продольного профиля лесовозных автомобильных дорог

Наименование параметров	Значения параметров		
	для основных условий (равнинная местность)	допускаемые в условиях	
		трудных (холмистая местность)	особо трудных (гористая местность)
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Наибольшие продольные уклоны, % <u>руководящий</u> в сторону спуска			
I - л, II - л, III - л	$\frac{30}{50}$	$\frac{50}{70}$	$\frac{80}{100}$

Продолжение таблицы С

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
IV – л	$\frac{40}{60}$	$\frac{60}{80}$	$\frac{90}{110}$
Расстояние видимости, м поверхности дороги встречного автомобиля			
I – л	$\frac{150}{300}$	$\frac{125}{250}$	$\frac{75}{150}$
II – л	$\frac{125}{250}$	$\frac{100}{200}$	$\frac{75}{150}$
III – л	$\frac{100}{200}$	$\frac{75}{150}$	$\frac{50}{100}$
IV – л	$\frac{75}{150}$	$\frac{50}{100}$	$\frac{30}{60}$
Наименьшие радиусы кривых в плане, м:			
I – л	200	125	60
II – л	125	100	60
III – л	100	60	50
IV – л	60	50	30
Наименьшие радиусы кривых в продольном профиле, м выпуклых вогнутых			
I – л	$\frac{5000}{2000}$	$\frac{5000}{2000}$	$\frac{1200}{1000}$
II – л	$\frac{5000}{2000}$	$\frac{2500}{1200}$	$\frac{1200}{200}$
III – л	$\frac{2500}{1200}$	$\frac{1200}{300}$	$\frac{600}{100}$
IV – л	$\frac{1200}{1000}$	$\frac{600}{100}$	$\frac{250}{100}$

Таблица D - Основные параметры поперечного профиля
лесовозных автомобильных дорог

Параметры поперечного профиля	Значения параметров			
	I - л	II - л	III - л	IV - л
Число полос движения	2	2	1	1
Ширина земляного полотна, м	10,5...22,0	11,0...17,0	6,5...9,0	6,5...9,0
Ширина проезжей части внутриплощадочных дорог, м, при ширине расчетного автомобиля, м: до 2,5 от 3,0 до 5,0	7,5 9,0-15,0	7,0 8,0-13,0	4,5 4,5-6,5	4,5 4,5-6,5
Ширина проезжей части межплощадочных дорог, м, при ширине расчетного автомобиля, м: до 2,5 от 3,0 до 5,0	8,0 11,0-18,0	7,5 10,0-15,0	4,5 4,5-7,0	4,5 4,5-7,0
Ширина обочины внутриплощадочных дорог, м, при ширине расчетного автомобиля, м: до 2,5 от 3,0 до 5,0	1,5 1,5	1,5 1,5	1,0 1,0	1,0 1,0
Ширина обочины внутриплощадочных дорог, м, при ширине расчетного автомобиля, м: до 2,5 от 3,0 до 5,0	2,0 2,0	2,0 2,0	1,0 1,0	1,0 1,0

Примечание.

1. Для промежуточных значений габаритов автомобилей по ширине минимальные значения параметров поперечного профиля определяются интерполяцией с округлением в большую сторону до 0,5 м.

2. Ширина проезжей части однополосных дорог принимается равной не менее двум габаритам ширины расчетного автомобиля, а обочин не менее 1,5 м. В стесненных условиях и в случае экономической нецелесообразности ширину проезжей части однополосных дорог допускается принимать в размере 1,5 габарита ширины расчетного автомобиля.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Штамп сетки продольного профиля

Тип местности по увлажнению			5		
Проектные данные	Тип поперечного профиля	слева	5		
		справа	5		
	Левый кювет	Укрепление	5		
		Уклон, ‰ Длина, м	10		
		Отметка дна, м	35		
	Правый кювет	Укрепление	5		
		Уклон, ‰ Длина, м	10		
		Отметка дна, м	15		
	Уклон, ‰, вертикальная кривая		10		
	Отметка оси дороги, м		15		
Фактические данные	Отметка земли, м	15			
	Расстояние, м	10			
Пикет Элементы плана Километры		20			
10	25	20	20	75	145

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Дорожная одежда лесовозных автомобильных дорог

Таблица Е - Расчетные характеристики материалов
для конструктивных слоев дорожных одежд

Материал		Модуль упругости, МПа
Щебень, фракционированный I–III классов прочности, уложен- ный по способу заклинки: из прочных осадочных пород из изверженных пород		350 – 450 250 – 350
Гравийные материалы (в зависи- мости от зернового состава):		250 – 270 200 – 230 170 – 200
Зерна крупнее 2 мм	Зерна мельче 0,5 мм	
85 %	3 %	
70 %	7 %	
60 %	10 %	
Металлические шлаки:		
активные		350 – 450
малоактивные		200 – 300
Пески:		
крупные и гравелистые		120
средней крупности		100
Песчано-гравийные смеси		180

Таблица F - Расчетные значения характеристик грунтов
(II дорожно-климатическая зона)

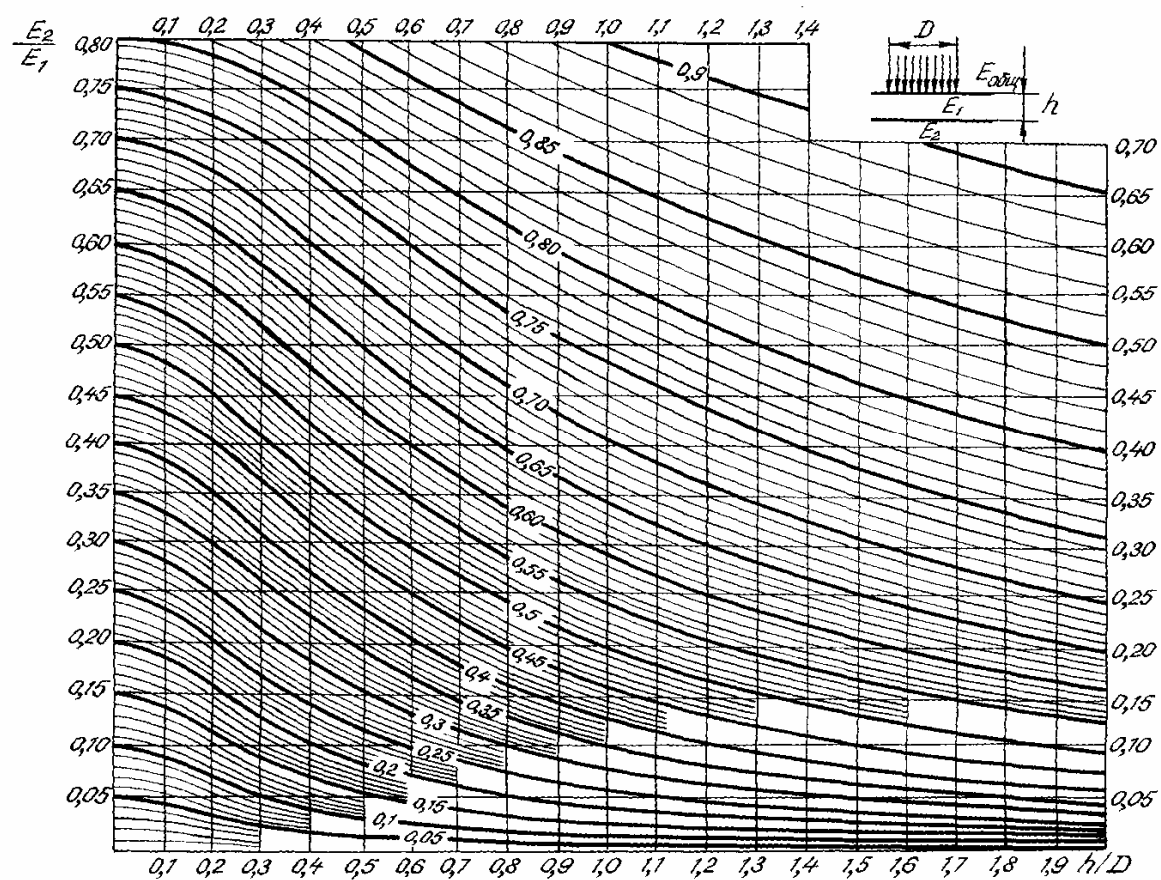
№ п/п	Наименование грунта	Тип мест- ности	Модуль упругости, МПа	φ_{cp} , град	C_{cp} , МПа
1	Супесь легкая	1	57	36	0,014
		2	55	36	0,014
		3	54	36	0,013
2	Песок пылеватый	1	84	37	0,022
		2	80	37	0,019
		3	78	37	0,018
3	Суглинок легкий и тяжелый, глина	1	59	22	0,026
		2	47	20	0,022
		3	43	19	0,020
4	Супесь пылеватая, тяжелая пылеватая, суглинок легкий пылеватый	1	48	19	0,018
		2	43	17	0,015
		3	40	16	0,014

Таблица G – Наименьшее возвышение поверхности покрытия

Грунт рабочего слоя	Наименьшее возвышение поверхности покрытия, м, в пределах дорожно-климатических зон			
	II	III	IV	V
Песок мелкий, супесь легкая крупная, супесь легкая	1,1/0,9	0,9/0,7	0,75/0,55	0,5/0,3
Песок пылеватый, супесь пылеватая	1,5/1,2	1,2/1,0	1,1/0,8	0,8/0,5
Суглинок легкий, суглинок тяжелый, глины	2,2/1,6	1,8/1,4	1,5/1,1	1,1/0,8
Супесь тяжелая пылеватая, суглинок легкий пылеватый, суглинок тяжелый пылеватый	2,4/1,8	2,1/1,5	1,8/1,3	1,2/0,8

Примечание.

В числителе – возвышение поверхности покрытия над уровнем грунтовых вод, верховодки или длительно (более 30 суток) стоящих поверхностных вод, в знаменателе – то же над поверхностью земли на участках с необеспеченным поверхностным стоком или над уровнем кратковременно (менее 30 суток) стоящих поверхностных вод.



Номограмма для определения общего модуля упругости
двухслойной системы

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Нормы расхода смазочных материалов

Таблица Н - Индивидуальные эксплуатационные нормы расхода масел
в литрах (смазок – в килограммах)
на 100 л общего расхода топлива автомобилем

Марка автомобиля	Моторные масла	Трансмиссионные и гидравлические масла	Спец. масла и жидкости	Пластичные смазки
КрАЗ 255,257,260	2,9	0,4	0,1	0,3
Урал 375,377	1,8	0,35	0,1	0,2
МАЗ 5434	4,5	0,5	1,0	0,3
КамАЗ 5320	2,8	0,4	0,15	0,35
Урал 4320	2,8	0,4	0,15	0,35
Временные нормы	4,5	0,5	1,0	0,2

Таблица I - Значения зимних надбавок к нормам расхода топлива
в регионах России по дорожно-климатическим зонам

Регион России	Кол-во месяцев и срок действия надбавок в зимний период эксплуатации	Предельная величина надбавок в зимний период эксплуатации, %, не более
Пермский край	5,5 01.XI...15.IV	10
Курганская обл.	5,5 01.XI...15.IV	10
Свердловская обл.	5,5 01.XI...15.IV	10
Тюменская обл.	5,5 01.XI...15.IV	12
Челябинская обл.	5,5 01.XI...15.IV	10
ХМАО	6,5 15.X...30.IV	18

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ПРОЕКТНАЯ ЧАСТЬ.....	3
1.1. Характеристика природных условий.....	3
1.2. Обоснование категории лесовозной дороги и основные нормы проектирования	4
1.3. Проектирование трассы дороги в плане	4
1.3.1. Камеральное трассирование.....	4
1.3.2. Проектирование виражей.....	6
1.3.3. Уширение проезжей части на кривой в плане.....	7
1.4. Проектирование продольного профиля автомобильной дороги.....	9
1.5. Проектирование земляного полотна.....	10
1.5.1. Проектирование поперечных профилей земляного полотна.....	10
1.5.2. Определение объемов земляных работ.....	10
1.6. Проектирование дорожных одежд нежесткого типа.....	11
2. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ.....	16
2.1. Определение полезной нагрузки автопоезда.....	16
2.2. Определение скорости движения автопоезда методом равновесных скоростей.....	17
2.3. Определение сменной эксплуатационной производительности автопоезда.....	18
2.4. Определение численности парка автомобилей и прицепного состава.....	19
2.5. Определение расхода топлива и смазочных материалов.....	19
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	21
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	22